

УДК 621.43.056

doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.14

**О. А. СІРИЙ, М. З. АБДУЛІН, О. В. БАРАНЮК**

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ПОТОКУ ПОВІТРЯ В СТРУМЕНЕВО-НІШЕВІЙ СИСТЕМІ СПАЛЮВАННЯ ПАЛИВА

**АНОТАЦІЯ** Проведено дослідження структури потоку повітря в нішевій порожнині трапецієвидної форми із плоским козирком на передній стінці в умовах струменево-нішевої системи стабілізації і спалювання газоподібного палива. Представлено методику проведення та опис експериментальної установки для виконання термоанемометричних досліджень. Виконано порівняння експериментальних даних профілю турбулентності для прямокутної та трапецієвидної ніші. Проаналізовано структуру течії в нішевій порожнині та її вплив на стабілізаційні якості струменево-нішевої системи.

**Ключевые слова:** струменево-нішева система (СНС), турбулентність, пальниковий пристрій, пускові характеристики.

A. SIRYI, M. ABDULIN, A. BARANYUK

## STUDYING THE HYDRODYNAMICS OF AIR FLOW IN THE FUEL COMBUSTION SYSTEM OF A JET-RECESS TYPE

**ABSTRACT** The purpose of this scientific paper is to improve the startup characteristics of jet-recess system (JRS) by changing its configuration after the analysis of the hydrodynamic structure of flow. A change in the configuration of recess cavity covers a change of its rectangular shape for the trapezoidal shape with further establishment of the so-called "flow structurator" represented by the flat apron above the recess in the front wall. The flow structure, in particular velocity profiles averaged in time and their pulsations were measured experimentally using the heat loss anemometer-based technology in isothermal conditions in the air channel provided that the recess is available. The experimental data are given for the distributions of average velocities and their pulsations in the central part of recess cavity. The experiment was carried out in the range of Reynolds numbers of  $23 \cdot 10^3$  to  $84 \cdot 10^3$ . An equivalent channel diameter of the burner was used as a defining dimension in the Reynolds number and the flow velocity in the central part of burner channel was used as a defining velocity. The JRS startup analysis during the combustion showed a certain decrease in startup and stalling fuel consumptions in conditions of a changed geometry of recess cavity. Thus, we can state that the use of "flow structurator" allows us on the whole to improve JRS startup properties due to the flow structure transformation and somewhat decrease the turbulence intensity in the recess. Such a transformation allows us to shift the fuel combustion mechanism towards a higher diffusibility of process.

**Key words:** jet-recess system (JRS), turbulence, burner and startup characteristics.

## Вступ

Простота використання в промисловості як основного палива природного газу, його екологічність, високий рівень розвитку інфраструктури, а також вигідне географічне положення України з точки зору транспортування та споживання палива, визначили широке розповсюдження природного газу в промисловості та енергетиці. В порівнянні з альтернативними паливними газами (генераторним, доменним, шахтним, біогазом) природний газ має найпривабливіші характеристики і в найближчий час його швидка заміна на альтернативні палива в хімічній, важкій промисловості та енергетиці неможлива. Таким чином, основним завданням на найближчий період є впровадження енергоефективних технологій, які б задовольняли сучасним вимогам по емісійним характеристикам, а також дозволяли б в найкоротші терміни окупити затрати на модернізацію застарілого обладнання.

Однією з найголовніших проблем залишається також збереження ефективності роботи вогнетехнічного обладнання (ВО) на змінних режимах його експлуатації.

Слід зазначити, що значна частина ВО України вичерпала свій фізичний та моральний ресурс. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є проведення його модернізації з впровадженням сучасного паливовикористовуючого обладнання. Визначальним напрямком в цій ситуації є орієнтація на вітчизняні технології, які вигідно відрізняються від імпортних аналогів за рахунок кращої адаптованості до вітчизняного ВО, а також більш сприятливою ціновою політикою вітчизняних виробників [1].

Отже, вирішення поставленої задачі можливе у випадку визначення підходу, який би дозволив за допомогою ефективної технології розв'язати ряд актуальних задач. В тому числі:

- при модернізації енергетичних та водогрійних котлів;
- об'єктів комунального господарства;
- об'єктів хімічної промисловості;
- об'єктів будівельної промисловості.

Однією з найбільш ефективних паливоснабляючих вітчизняних технологій, яка дозволяє надійно та ефективно працювати в широкому діапазоні робочих навантажень ВО є струменєво-нішева технологія (СНТ) [2]. Сьогодні проведено модернізацію близько 1000 ВО України та зарубіжжя.

Слід зазначити, що переведені за рахунок мало затратної модернізації міські тепломережі міст: Житомир, Луганськ, Алчевськ, Івано-Франківськ та інші.

Модернізовано мартенівські печі та інше обладнання Запоріжсталі. Проведено заміну застарілого обладнання на ВО декількох десятків лікеро-горілчаних, цукрових та молочних заводів [3].

Поряд з проблемами, пов'язаними з необхідністю пошуку альтернативних палив та економії дефіцитних енергоресурсів, до СНТ висуваються вимоги стосовно розширення меж потужності пальникових пристроїв за рахунок: зниження пускових тисків палива, а також – збільшення одиничної потужності пальників при нормативних показниках по емісійним характеристикам, а також ефективності вигорання палива.

В роботі основна увага приділена дослідженню впливу конфігурації нішевого стабілізатору на процеси гідродинаміки потоку в струменево-нішевій системі (СНС) покладеної до основи одноїменних промислових пальників.


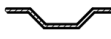
### Ціль роботи

Метою представленого експериментального дослідження є вивчення структури повітряних потоків в струменево-нішевій системі шляхом вимірювання осереднених в часі та пульсуючих їх гідродинамічних характеристик за допомогою термоанемометричної техніки. В якості об'єкта дослідження вивчалися гідродинамічні параметри потоку, що спостерігаються в нішевому стабілізаторі полум'я СНС при зміні його конфігурації (рис. 1б–г).

На рис. 1а приведена схема самоохолодження основного елементу промислових пальників СНТ – паливного колектору пілону полум'я, яка дозволяє охолодити найбільш термічно навантажені елементи пальників за рахунок попереднього підігріву палива [4].

Очевидно, що зміна форми нішевої порожнини дозволяє зменшити місцеві гідравлічні втрати по тракту палива в умовах пальникового пристрою в середньому на 20 % (табл. 1), а також ефективніше охолодити нахилені стінки ніші в порівнянні з прямокутною формою нішевого стабілізатору. Вплив зміни геометрії ніші на гідравлічний опір в каналі при обтіканні ніші потоком повітря досліджено в роботі [5].

Таблиця 1 – Відношення коефіцієнтів місцевих гідравлічних втрат непрямокутної ніші до відповідної прямокутної по тракту палива (кут нахилу бокових стінок складає  $45^\circ$ )

Навантаження, $N/N_0$		0,1	0,4	0,8	1,2
$\xi$		3,25	3,01	2,88	2,86
$\xi/\xi_0$		0,78	0,79	0,8	0,8

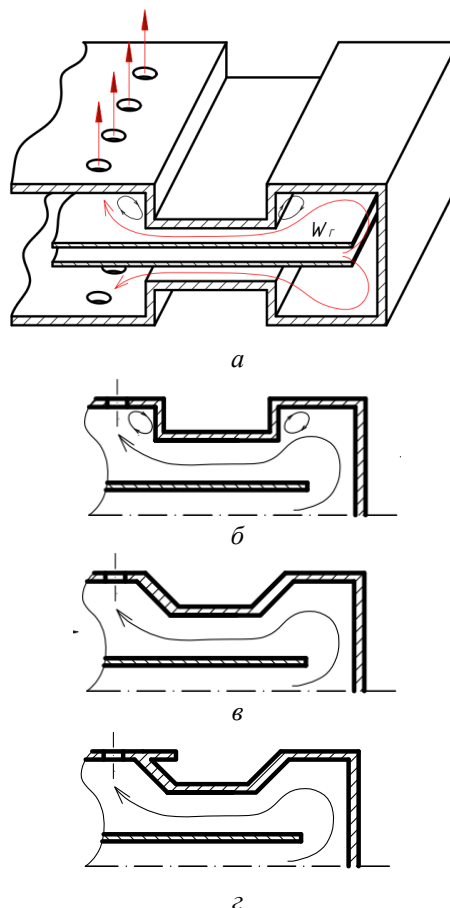


Рис. 1 – Схема самоохолодження струменево-нішевого пілону полум'я, при зміні конфігурації нішевої порожнини: а – схема; б – прямокутна; в – в формі трапеції; г – в формі трапеції з козирком на передній стінці

Існує необхідність ефективної стабілізації факелу в системі і автори роблять припущення, що використання плоскої накладки (рис. 1г) покращить надійність пуску обладнання. В зв'язку з цим стає актуальним питання обґрунтувати з гідродинамічної точки зору доцільності застосування такої плоскої накладки, яка в подальшому тексті статті скорочено називається «козирком». В даній роботі основна увага приділена вивченню гідродинамічної картини зовнішнього обтікання нішевої порожнини, а також встановлення закономірностей впливу плоского козирка на характеристики турбулентних пульсацій та профілю швидкості в системі.

### Методика досліджень

Вимірювання структури течії – профілів усереднених в часі швидкостей і їх пульсацій проводилося експериментально за допомогою термоанемометричної техніки на діючому зразку СНС пальника. В якості термоанемометричного обладнання використовувались термоанемометр DISA-

*Eelectronics* (Данія) типу 55M та анемометра-термометр *TESTO 425*. В якості первинного перетворювача використовується однопровідний датчик. Робочий елемент датчика довжиною 1,25 мм виготовлений з вольфрамової нитки діаметром 5 мкм. Нитка датчика термоанемометра вмикається в одне з плечей мосту, що входить в склад основних блоків термоанемометричних систем *DISA 55M* та *TESTO 425*. Для налаштування термоанемометричної системи і візуального спостереження за сигналом під час проведення вимірювань засто-

совувався осцилограф *CI-70*. Аеродинамічний стенд з усією необхідною апаратурою, а також схема фіксації датчика наведені на рис. 2.

Під час вимірювань датчик термоанемометру *DISA 55M*, розташовувався в центральному перерізі пальника і переміщувався на глибину від його центру каналу пальника до стінки ніші. Нитка датчика розміщувалася перпендикулярно набігаючому потоку і реагувала на сумарну збудженість, яка створюється при течії в каналі пальника.



Рис. 2 – Аеродинамічний стенд з вимірювальною апаратурою

Відомо, що при використанні термоанемометрів з нагрітою ниткою безпосередньо вимірювані електричні сигнали перераховуються в гідродинамічні характеристики потоку. Коефіцієнти перекладу (чутливості) визначаються закономірностями конвективного теплообміну між потоком і нагрітим чутливим елементом датчика. Тому точність методики термоанемометричних вимірювань в значній мірі визначається коректністю побудови тарувальної характеристики датчика.

Для проведення тарування датчика в той же переріз, де знаходився датчик встановлювався «носок» трубки Піто-Прандтля (рис. 2).

Попередні вимірювання за допомогою анемометра-термометра *TESTO 425* підтвердили рівномірність поля швидкостей в місці установки трубки Піто-Прандтля і нитки датчика термоанемометра *DISA 55M*. Швидкість повітряного потоку визначалася в робочій ділянці трубкою Піто-Прандтля встановленої поблизу нитки датчика. Тарувальна характеристика, як зазвичай, будувалася в лінеаризованих координатах.

Приклад тарувальної характеристики термоанемометра приведений на рис. 3.

З тарувальної характеристики видно, що вона лінійна у всьому діапазоні швидкостей 2...12 м/с (максимальне відхилення не перевищує 0,01 %). На підставі тарувальної характеристики визначаються константи градування  $E_0^2$  і  $B$ , необхідні для розрахунку швидкості і середньоквадратичної пульсації.

Методика термоанемометричних вимірювань базується на теорії конвективного теплообміну нагрітої нитки датчика термоанемометра. Розглядаючи нитку як циліндр нескінченної довжини, для описання теплообміну застосовуються рівняння подібності, що здобуті в випадку поперечного обтікання циліндру, оскільки при вимірюваннях поздовжньої компоненти пульсації нитка датчика термоанемометру розташовується перпендикулярно обтікаючому її потоку.

В теорії конвективного теплообміну рівняння подібності для поперечно-обтікаємого повітрям циліндру визначаються в вигляді двочленної залежності [6]

$$E^2 = E_0^2 + BU^{0,45}, \quad (1)$$

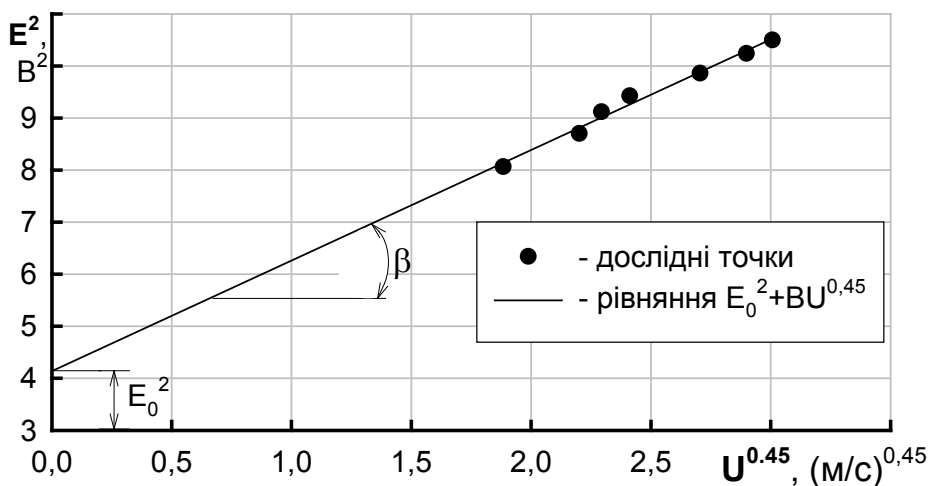


Рис. 3 – Тарувальна характеристика датчика термоанемометра

де  $U$  – швидкість потоку, м/с;  $E$  – напруга, що знімається з діагоналі мосту (лінійно пов'язана з  $E_w$ , але посилена за рахунок мостової схеми і посилювача зворотного зв'язку), В;  $E_0^2$  – квадрат фіктивної напруги, значення якого визначається при пролонгації тарувальної характеристики до  $w = 0$ , В<sup>2</sup>;  $B$  – константа тарування; показник ступені  $n = 0,45$  вибраний як оптимальний на основі експериментальних даних [6], В<sup>2</sup>(м/с)<sup>0,45</sup>.

З допомогою рівняння (1) проводиться расшифровка результатів вимірювань. Як безпосередньо випливає з цього рівняння, середня в часі швидкість може бути визначена, як

$$U = \left( \frac{E^2 - E_0^2}{B} \right)^{2,22}, \quad (2)$$

Диференціювання рівняння (2) по змінним  $E$  та  $w$  дозволяє встановити взаємозв'язок між середньоквадратичними пульсаціями поздовжньої компоненти швидкості та напруги

$$\frac{\sqrt{u'^2}}{u} \% = \frac{0,444E}{E^2 - E_0^2} \sqrt{e'^2}, \quad (3)$$

де  $\sqrt{e'^2}$  – середньоквадратична пульсація напруги, мВ.

Ступінь турбулентності потоку визначався з сумарною відносною похибкою

$$\varepsilon_{\text{Тн}} = \sqrt{\varepsilon_B^2 + E^2 + \varepsilon_{rw}^2 + E_0^2 + \varepsilon_u^2}, \quad (4)$$

Похибка визначення окремих величин:

а) похибки вимірювання пульсацій напруги  $\varepsilon_B$  і напруги моста  $E$  оцінені відповідно в  $\pm 0,5$  і  $\pm 0,2$  %;

б) опір датчика вимірювався з абсолютною похибкою 0,05 Ом, так що максимальна відносна похибка  $\varepsilon_{rw}$  (для датчика з ниткою діаметром 5 мкм,  $\varepsilon_{rw} = 4$  Ом) складала  $\pm 0,8$  %;

в) значення  $E_0^2$  виходило побудовою тарувальної характеристики насадки з похибкою не більш  $\pm 2$  %;

г) абсолютна похибка вимірювання швидкості потоку за допомогою трубки Піто-Прандтля, необхідною для побудови тарувальної характеристики датчика, складала  $\pm 0,07$  мм водяного стовпа, що при мінімальній швидкості потоку ( $\sim 1,5$  мм водяного стовпа) призводить до максимальної відносної похибки  $\pm 2,4$  %.

Гідродинамічні характеристики потоку – число Рейнольдса і ступінь турбулентності визначалися з похибкою  $\pm 2,7$  % і  $\pm 3,3$  % відповідно.

Таким чином, вимірювання ступеню турбулентності проводилося з похибкою  $\pm 3,3$  %, а середньої швидкості  $\pm 2,4$  %.

### Обговорення результатів

Результати експериментів представлялись у вигляді розподілів середніх швидкостей і їх пульсацій в центральній частині каверни. Експеримент проводився в діапазоні чисел Рейнольдса від  $23 \cdot 10^3$  до  $84 \cdot 10^3$ . В якості визначального розміру в числі Рейнольдса вибирався еквівалентний діаметр каналу пальника, а в якості визначальної швидкості – швидкість потоку в центрі каналу пальника.

Для аналізу впливу «козирка» на розподіл середньої швидкості потоку на рис. 4 приведені дані залежностей  $U = f(y)$  для каверни з встановленим «козирком» та без нього. Порівняння проводилось при однаковій швидкості потоку в перетині, що проходить через центр нішевої порожнини при  $U = 18$  м/с, що відповідає числу Рейнольдса  $84 \cdot 10^3$ .



Аналіз розподілів приведених на рис. 5 свідчить, що у випадку відсутності «козирка» у каверні розвивається класична відривна течія з максимальною швидкістю зворотного руху 5 м/с, що складає 36 % від швидкості основного потоку в центральному каналі пальника. При чому необхідно констатувати, що профіль середніх швидкостей потоку в центрі пальника є прямокутним, про що свідчить залежність  $U = f(y)$  для висот  $y$  від 30 мм до 60 мм. Згадане твердження справедливе також для каверни з «козирком» і свідчить про правомірність проведення тарування датчика термометра в центрі прямокутного каналу пальника.

Аналіз розподілу швидкостей для каверни з встановленим «козирком» свідчить про утворення складної в гідродинамічному сенсі картини течії в каверні – наявність «козирка» дозволяє розділити суцільну вихрову зону (яка спостерігається в каверні без «козирка») на систему окремих вихрів, що взаємодіють між собою (про що свідчить деформація профілю швидкості на висоті від 0 до 10 мм).

Для доповнення інформації приведеної на рис. 4 використовується розподіл середньоквадратичних пульсацій швидкостей, що відповідають середній швидкості потоку в центрі каналу 18 м/с і приведені на рис. 5.

Аналіз рис. 5 свідчить, що встановлення «козирка» на 14 % знижує сумарну турбулентність потоку в каверні порівняно з випадком без «козирка». Так, в центрі каверни турбулентність потоку складає 18 %, тоді як в каверні з встановленим «козирком» вона досягає 10 %. При чому, необхідно констатувати, що встановлення «козирка» змінює характер профілю пульсацій швидкості з параболічного (характерний для каверни без «козирка») на спрямлений.

Для порівняльного аналізу отриманих результатів використовувались експериментальні дані [7], отримані автором при дослідженні структури потоку в плоскій прямокутній каверні, тих же геометричних розмірів, що і досліджувалась в даній роботі. Як свідчить рис. 3 залежність  $\sqrt{u'^2}/U = f(y)$  середньоквадратичних пульсацій швидкості в прямокутній ніші має той же характер, що і для ніші без «козирка». Максимальне відхилення отриманих експериментальних даних від відомих з літератури спостерігається біля дна ніші і складає 25 %. Порівняльний аналіз також свідчить, що автор [7] не зміг більш повно оцінити структуру потоку в прямокутній ніші, тому автори даної роботи можуть претендувати на правомірність отриманих результатів.

Стосовно довжини структуратора слід зазначити наступне: зі збільшенням його довжини відбувається відповідне переміщення центральної вихрової структури з центру до задньої стінки ніші. Подальше збільшення довжини погіршує

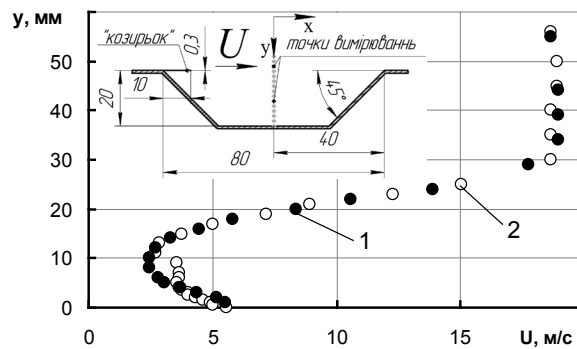


Рис. 4 – Розподіл середньої швидкості потоку: 1 – залежність  $U = f(y)$  для каверни без «козирка»; 2 – залежність  $U = f(y)$  для каверни з встановленим «козирком»

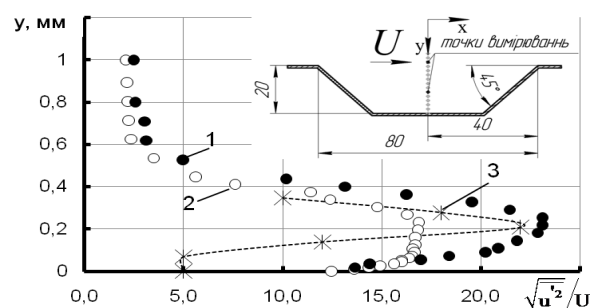


Рис. 5 – Розподіл середньоквадратичних пульсацій швидкості потоку в перетині, що проходить через центр нішевої порожнини: 1, 2 – залежність  $\sqrt{u'^2}/U = f(y)$  для каверни без «козирка» і з встановленим «козирком» відповідно; 3 – розподіл середньоквадратичних пульсацій швидкості в прямокутній ніші [7]

стабілізаційні якості течії насамперед за рахунок зменшення прохідної площі горизонтального перетину нішевої порожнини. Температурний стан металу надкрилка помірний і залежить від швидкості набігаючого потоку повітря, а також витратних параметрів паливоподачі. Так, температура металу збільшується при горінні палива, відповідно, на більших швидкостях окисника, але дещо зменшується при наборі потужності в межах одного швидкісного режиму набігаючого повітря. Максимальні рівні температур на вільному кінці структуратора довжиною 4 мм при ніші розміром  $L/H = 40/10$  не перевищували  $315^\circ\text{C}$ .

Виконання експериментальних досліджень візуалізації течії за допомогою саже кerosинові суміші показало, що використання козирка видозмінює структуру вихрової структури в каверні і, тим самим, підтверджує отримані результати термоанемометрії.

## Виводи

1 За допомогою методів термоанемометрії встановлено, що зміна конфігурації ніші з прямо-

кутної форми до трапецієвидної майже не впливає на характер розподілу і максимальне значення турбулентності по центральному перетину каналу.

2 Визначено, що використання принішевого «козирка» змінює структуру вихрової течії, зміщуючи її в сторону задньої по потоку стінки ніші, і тим самим, зменшує максимальні рівні значень турбулентності потоку (з 23 %, як для каверни без «козирка», до 17 % для каверни з встановленим «козирком») в геометричному центрі ніші.

3 Застосування плоскої накладки («козирка») в струменеві-нішеві системі дозволяє видозмінити вихрову структуру в каверні, тому можна констатувати, що досліджена в роботі накладка виступає в деякій мірі в якості регулятора турбулентності і може бути охарактеризована як аеродинамічний структуратор течії.

4 Використання аеродинамічного структуратора в цілому дозволяє покращити пускові якості СНС за рахунок деякого зниження інтенсивності турбулентності потоку в ніші, що дозволяє перемістити процес з мікродифузійного режиму спалювання в сторону більшої дифузійності процесу горіння.

#### Список літератури

- 1 **Абдулин, М. З.** Применение струйно-нишевой технологии сжигания топлива в энергетических установках [Текст] / **М. З. Абдулин** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2005. – № 6. – С. 130–144. – Бібліогр. : 7 назв. – ISSN 2078-774X.
- 2 **Абдулин, М. З.** Оптимизация топочного процесса – путь к повышению эффективности, экологической безопасности и надежности работы котлов [Текст] / **М. З. Абдулин, И. П. Овсиенко, Г. Р. Дворцин, А. М. Жученко, Ю. А. Кулешов** // Новости теплоснабжения. – 2008. – № 4. – С. 31–35.
- 3 **Абдулин, М. З.** Горелочное устройство на основе саморегулирующейся системы смесеобразования и стабилизации пламени [Текст] / **М. З. Абдулин, Г. Р. Дворцин, И. Б. Тепляков, В. Н. Строкин** // Труды IV международной научно-технической конференции «Комплексная автоматизация промышленности». – 1990. – С. 12–16.
- 4 **Фялко, Н. М.** Компьютерное моделирование процессов переноса в системах охлаждения горелочных устройств стабилизаторного типа [Текст] / **Н. М. Фялко, В. Г. Прокопов, Ю. В. Шеренковский, С. А. Алешко, Н. О. Меранова, М. З. Абдулин, Л. С. Бутковский, А. Н. Миргородский** // Пром. теплотехника – 2012. – Т. 34, № 1. – С. 64–71. – ISSN 0204-3602.
- 5 **Фялко, Н. М.** Анализ влияния геометрической формы нишевой полости на аэродинамическое сопротивление канала [Текст] / **Н. М. Фялко, В. Г. Прокопов, С. А. Алешко, Н. П. Положенко, А. Б. Тимошенко, М. З. Абдулин, О. Е. Малецкая, А. В. Ночовный** // Пром. теплотехника – 2012. – Т. 34, № 1. – С. 72–76. – ISSN 0204-3602.

- 6 **Дыбан, Е. П.** Тепломассообмен и гидродинамика турбулизированных потоков [Текст] / **Е. П. Дыбан, Э. Я. Эпик**. – Киев : Наукова думка, 1985. – 296 с.
- 7 **Абдулин, М. З.** Струйно-нишевая система стабилизации и сжигания топлива [Текст] : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.04.01 «Котлы и камеры сгорания» / **Абдулин Михаил Загретдинович** ; НТУУ «КПИ». – Киев, 1986. – 18 с.

#### Bibliography (transliterated)

- 1 **Abdulin, M. Z.** (2005), "Primenenie strujno-nishevoj tehnologii szhiganiya topliva v jenergeticheskikh ustanovkakh [The use of jet-niche technology of fuel combustion in power plants]", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 6, pp. 130–144, ISSN 2078-774X.
- 2 **Abdulin, M. Z., Ovsienko, I. P., Dvortsin, G. R., Zhuchenko, A. M. and Kuleshov, Yu. A.** (2008), "Optimizacija topocnogo processa – put' k povysheniju jeffektivnosti, jekologicheskoy bezopasnosti i nadezhnosti raboty kotlov [Optimizing the combustion process - a way to increase efficiency, environmental safety and reliability of the boiler]", *Novosti teplosnabzhenija* [Heating news], no. 4, pp. 31–35.
- 3 **Abdulin, M. Z., Dvortsin, G. R., Teplyakov, I. B. and Strokin, V. N.** (1990), "Gorelochnoe ustrojstvo na osnove samoregulirujushhejsja sistemy smeseobrazovaniya i stabilizacii plameni [Burner device based on a self-regulating system of mixing and flame stabilization]", *Trudy IV mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Kompleksnaja avtomatizacija promyshlennosti"* [Proceedings of the IV International scientific conference "Integrated industrial-automation"], pp. 12–16.
- 4 **Fialko, N. M., Prokopov, V. G., Sherenkovskiy, Yu. V., Aleshko, S. A., Meranova, N. O., Abdulin, M. Z., Butovskiy, L. S. and Mirgorodskiy A. N.** (2012), "Komp'yuternoe modelirovanie processov perenosu v sistemah ohlazhdeniya gorelochnykh ustroystv stabilizatornogo tipa [Computer modeling of the transport processes in cooling systems of stabilization burners]", *Prom. teplotekhnika* [Industrial heat engineering], vol. 34, no. 1, pp. 64–71, ISSN 0204-3602.
- 5 **Fialko, N. M., Prokopov, V. G., Aleshko, S. A., Polozhenko, N. P., Timoschenko, A. B., Abdulin, M. Z., Maletskaya, O. E. and Nochovnyy, A. V.** (2012), "Analiz vlijaniya geometricheskoy formy nishevoj polosti na ajerodinamicheskoe soprotivlenie kanala [Analysis of the influence of the niche cavity geometric shape to the aerodynamic channel resistance]", *Prom. teplotekhnika* [Industrial heat engineering], vol. 34, no. 1, pp. 72–76, ISSN 0204-3602.
- 6 **Dyban, E. P. and Epik, E. Ya.** (1985), *Teplomassoobmen i gidrodinamika turbulizirovannykh potokov* [Heat and mass transfer and hydrodynamics of turbulize flows], Naukova dumka [Scientific thought], Kiev, Ukraine.
- 7 **Abdulin, M. Z.** (1986), "Strujno-nishevaja sistema stabilizacii i szhiganiya topliva [Jet recess system of fuel stabilization and combustion]", Abstract of Ph.D. dissertation, Kotly i kamery sgoraniya [Boilers and combustion chambers], NTUU "KPI", Kiev, Ukraine.

## Сведения об авторах (About authors)

**Сірий Олександр Анатолійович** – старший викладач Кафедри теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій, Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», м. Київ-56, вул. Політехнічна, 6, корпус № 5, Україна; e-mail: Seruy\_Alex@i.ua.

**Siryi Alexander** – Senior Lecturer (S. L.), department of Heat-and-power engineering plants of thermoelectric and nuclear power stations of NTUU "KPI", 6, Politechnicheskaya Str., Kiev-56, bldg. 5, Ukraine.

**Абдулін Михайло Загретдинович** – кандидат технічних наук, доцент Кафедри теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій, Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», м. Київ-56, вул. Політехнічна, 6, корпус №5, Україна; e-mail: MZAbdulin@gmail.com.

**Michail Abdulin** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Heat-and-power engineering plants of thermoelectric and nuclear power stations of NTUU «KPI», 6, Politechnicheskaya Str., Kiev-56, bldg. 5, Ukraine.

**Баранюк Олександр Володимирович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри атомних електричних станцій і інженерної теплофізики, Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», м. Київ-56, вул. Політехнічна, 6, корпус № 5, Україна; e-mail: AleksandrW@i.ua.

**Baranyuk Alexander** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Lecturer (S. L.), Department of Nuclear power stations and engineering thermal physics - of NTUU «KPI», 6, Politechnicheskaya Str., Kiev-56, bldg. 5, Ukraine.

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Сірий, О. А.** Дослідження гідродинаміки потоку повітря в струменево-нішевій системі спалювання палива [Текст] / **О. А. Сірий, М. З. Абдулін, О. В. Баранюк** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 9(1181). – С. 94–100. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.14.

*Please cite this article as:*

**Siryi, A., Abdulin, M. and Baranyuk, A.** (2016), "Studying the Hydrodynamics of Air Flow in the Fuel Combustion System of a Jet-Recess Type", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 9(1181), pp. 94–100, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.14.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Серый, А. А.** Исследование гидродинамики потока воздуха в струйно-нишевой системе сжигания топлива [Текст] / **А. А. Серый, М. З. Абдулин, А. В. Баранюк** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 9(1181). – С. 94–100. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.14.

**АНОТАЦІЯ** Проведены исследования структуры потока воздуха в нишевой полости трапецевидной формы с плоским козырьком на передней стенке в условиях струйно-нишевой системы стабилизации и сжигания газообразного топлива. Приведена методика проведения и описание экспериментальной установки для термоанемометрических исследований. Выполнено сравнение экспериментальных данных профиля турбулентности для прямоугольной и трапецевидной ниши. Проанализирована структура течения в нишевой полости и ее влияние на стабилизационные качества струйно-нишевой системы.

**Ключові слова:** Струйно-нишевая система (CHC), турбулентность, горелочное устройство, пусковые характеристики.

*Надійшла (received) 18.01.2016*